

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-126010

(43)公開日 平成10年(1998)5月15日

(51)Int.Cl.  
H 01 S 3/18  
H 01 L 33/00

識別記号

F I  
H 01 S 3/18  
H 01 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数8 FD (全14頁)

(21)出願番号 特願平8-299543

(22)出願日 平成8年(1996)10月23日

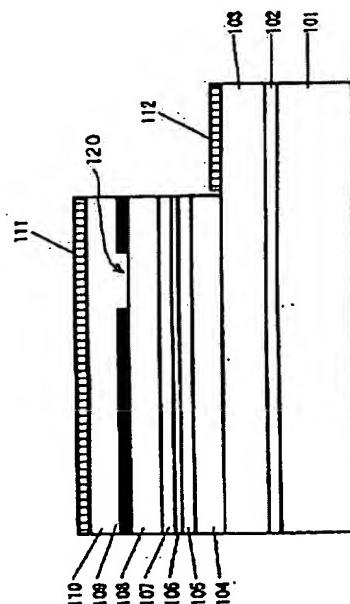
(71)出願人 000006747  
株式会社リコー  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
(72)発明者 高橋 孝志  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内  
(74)代理人 弁理士 植木 雅治

(54)【発明の名称】 半導体レーザ装置の製造方法

(57)【要約】

【課題】 窒素を含む化合物の半導体レーザ装置において、電流を狭窄して閾電流を低減するとともに、これによる素子の動作電圧が高くなるのを有効に防止することの可能な半導体レーザ装置の製造方法を提供する。

【解決手段】 基板101上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層104(0 < x < 1)、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0 ≤ y < 1)を含む発光領域(活性層)106、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層108を順次に形成し、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層108上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域120を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109(x < z ≤ 1)を選択成長によって形成し、前記p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層108及びAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109上には、p型GaNコンタクト層110を形成する。



REST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0<x<1)、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0≤y<1)を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層を順次に形成し、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層(x<z≤1)を選択成長によって形成し、前記p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層及びAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層上には、p型GaNコンタクト層を形成することを特徴とする半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項2】 基板上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0<x<1)、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0≤y<1)を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層を順次に形成し、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層(x<z≤1)を選択成長によって形成し、前記p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層及びAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層上には、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第2クラッド層、p型GaNコンタクト層を順次に形成することを特徴とする半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項3】 基板上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0<x<1)、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0≤y<1)を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層を順次に形成し、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層(x<z≤1)、In<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層(0≤w<1)を選択成長によって順次に形成し、前記p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層およびIn<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層上には、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第2クラッド層、p型GaNコンタクト層を順次に形成することを特徴とする半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項4】 基板上に、少なくともn型GaNバッファ層を形成し、該n型GaNバッファ層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層(x<z≤1)を選択成長により形成し、前記n型GaNバッファ層およびAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層上には、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0<x<1)、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0≤y<1)を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層、p型GaNコンタクト層を順次に形成することを特徴とする半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項5】 基板上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層(0<x<1)を形成し、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層(x<z≤1)を選択成長によって形成し、前記n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層およびAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層上には、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第2クラッド層、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0≤y<1)を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層、p型GaNコンタクト層を順次に形成することを特徴とする半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項6】 基板上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層(0<x<1)を形成し、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、In<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層(0≤w<1)、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層(x<z≤1)を選択成長によって順次に形成し、前記n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層およびAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層上には、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第2クラッド層、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0≤y<1)を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層、p型GaNコンタクト層を順次に形成することを特徴とする半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項7】 基板上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0<x<1)、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0<y<1)を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層を順次に形成し、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層上には、電流注入領域となるべき円形状の領域を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層(x<z≤1)を選択成長によって形成し、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層およびAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層上には、p型GaNコンタクト層を形成し、前記積層構造を共振器としてその上下に多層膜プラグ反射鏡を形成することを特徴とする垂直共振器型面発光半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項8】 請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の半導体レーザ装置の製造方法において、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層またはIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層に代えて、GaN/A<sub>1-x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nからなる超格子構造を形成することを特徴とする半導体レーザ装置の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザ装置の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】InGaAlN系化合物半導体は、直接遷移型のワイドギャップ半導体であり、青色の半導体レーザの材料として研究開発が進められている。図11は特開平7-176826号に示されている従来の窒化ガリウム系半導体レーザを示す図である。この半導体レーザは、サファイア基板1上にGaNよりなるバッファ層2、Siをドープしたn型GaNコンタクト層3が形成されており、その上に、ストライプ状導波路として、Siをドープしたn型GaAlNクラッド層4、Siをドープしたn型InGaN活性層5、Mgをドープしたp型AlGaNクラッド層6、Mgをドープしたp型GaNコンタクト層7が、ストライプ状に順次に形成されたダブルヘテロ接合(DH)構造を有している。また、この半導体レーザには、電極としてp型GaNコンタクト層7上にp層オーミック電極8が形成され、n型GaNコンタクト層3上にn層オーミック電極9が形成されている。

【0003】図11の半導体レーザにおいては、ストラ

イブ状導波路をドライエッティングによって、幅が $50\mu m$ 以下になるように形成している。これにより、活性層の電流密度を大きくして発振電流を減少させている。

【0004】図12は特開平6-283825号に示されている別の窒化ガリウム系半導体レーザを示す図である。この半導体レーザでは、サファイア基板10上に、AlN層11、Siドープn型GaN層12、Siドープn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層13、Siドープn型GaN層14、アンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層15、Mgドープp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層16及びMgドープp型GaN層17が順次に積層されて形成されている。なお、x、yは $0 \leq x \leq y \leq 1$ となっている。また、図12において、18はSiO<sub>2</sub>絶縁層であり、このSiO<sub>2</sub>絶縁層18には幅 $10\mu m$ のストライプ部分が形成されている。また、19、20はSiドープn型GaN層12およびMgドープp型GaN層17とにそれぞれ形成された金属電極である。

【0005】図12の半導体レーザにおいては、Mgドープp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層16からの不純物Mgの拡散をアンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層15によって吸収し防止している。これにより、活性層内のドナーアクセプター間のペア発光を抑制して閾電流を低下させている。

【0006】図11および図12に示した半導体レーザは、端面発光型のものであるが、面発光型の窒化ガリウム系半導体レーザの構造も提案されている。図13は特開平7-297476号に示されている窒化ガリウム系の面発光レーザを示す図である。図13の半導体レーザでは、表面が[10-10]軸に垂直であるサファイア基板21上に、GaNのバッファ層22を成長した後、GaNに格子整合したInAlNのアンドープ低屈折率層23と、交互に10.5周期積層し、アンドープラグ反射鏡25を形成する。各層23、24の厚さは素子内部での波長入の1/4とする。次に、n型GaNの電流注入層26、アンドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nの歪み量子井戸層27、p型GaNの正孔注入層28から成る共振器を設ける。この共振器の厚さをλとする。統いて、GaNに格子整合したInAlNのp型屈折率層29とGaNのp型高屈折率層30とを、交互に10.5周期積層し、p型ラグ反射鏡31を形成する。また、p-GaNキャップ層32、p側電極33を設ける。さらに、表面から電子注入層26に到達するまでエッティングを行なうことにより、直径が $10\mu m$ の円形のメサを形成する。最後にSiO<sub>2</sub>34で被覆した後、n側電極35を蒸着して、図13に示す面発光レーザを作成することができる。

【0007】図13の構造の半導体レーザでは、活性層を[0001]軸から傾斜した軸方向に形成することにより、偏光方向を制御している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、半導体レーザでは、活性層に注入される電流領域を狭くし、活性層内のキャリア密度を高くすることによって閾電流を低減している。図11に示した半導体レーザでは、ドライエッティングによって幅 $50\mu m$ 以下の導波路構造を作製することにより、電流を狭窄している。また、図12に示した半導体レーザにおいては、SiO<sub>2</sub>絶縁膜を幅 $10\mu m$ のストライプ状にエッティングし、電流を幅 $10\mu m$ の領域からのみ注入することによって、電流を狭窄している。

【0009】しかしながら、Mgドープp型GaNコンタクト層とp型の金属電極との接触抵抗が高いため、図11、図12に示した構造では電極との接触面積が小さくなり、素子の直列抵抗が増加し、素子の動作電圧が高くなってしまうという問題があった。

【0010】同様に、図13に示した面発光レーザにおいても、直径が $10\mu m$ の円形メサ構造によって電流狭窄を行なっているため、p型コンタクト層とp型の金属電極との接触面積が小さくなり、素子の動作電圧が高くなってしまうという問題があった。

【0011】本発明は、窒素を含む化合物の半導体レーザ装置において、電流を狭窄して閾電流を低減するとともに、これによる素子の動作電圧が高くなるのを有効に防止することの可能な半導体レーザ装置の製造方法を提供することを目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1記載の発明では、基板上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層( $0 < x < 1$ )、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層( $0 \leq y < 1$ )を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層を順次に形成し、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層( $x < z \leq 1$ )を選択成長によって形成し、前記p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層及びAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層上には、p型GaNコンタクト層を形成することを特徴としている。

【0013】また、請求項2記載の発明は、基板上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層( $0 < x < 1$ )、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層( $0 \leq y < 1$ )を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層を順次に形成し、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層( $x < z \leq 1$ )を選択成長によって形成し、前記p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層及びAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層上には、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第2クラッド層、p型GaNコンタクト層を順次に形成することを特徴としている。

【0014】また、請求項3記載の発明は、基板上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層( $0 < x < 1$ )、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層( $0 \leq y < 1$ )を含む発光領域、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層を順次に形成し、p

型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第1クラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 ( $x < z \leq 1$ )、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層 ( $0 \leq w < 1$ ) を選択成長によって順次に形成し、前記 p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第1クラッド層および  $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層上には、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第2クラッド層、p 型 GaN コンタクト層を順次に形成することを特徴としている。

【0015】また、請求項4記載の発明は、基板上に、少なくとも n 型 GaN バッファ層を形成し、該 n 型 GaN バッファ層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 ( $x < z \leq 1$ ) を選択成長により形成し、前記 n 型 GaN バッファ層および  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層上には、n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層 ( $0 < x < 1$ )、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y < 1$ ) を含む発光領域、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層、p 型 コンタクト層を順次に形成することを特徴としている。

【0016】また、請求項5記載の発明は、基板上に、少なくとも n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第1クラッド層 ( $0 < x < 1$ ) を形成し、n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第1クラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 ( $x < z \leq 1$ ) を選択成長によって形成し、前記 n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第1クラッド層および  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層上には、n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第2クラッド層、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y < 1$ ) を含む発光領域、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層、p 型 コンタクト層を順次に形成することを特徴としている。

【0017】また、請求項6記載の発明は、基板上に、少なくとも n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第1クラッド層 ( $0 < x < 1$ ) を形成し、n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第1クラッド層上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層 ( $0 \leq w < 1$ )、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 ( $x < z \leq 1$ ) を選択成長によって順次に形成し、前記 n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第1クラッド層および  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層上には、n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第2クラッド層、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y < 1$ ) を含む発光領域、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層、p 型 コンタクト層を順次に形成することを特徴としている。

【0018】また、請求項7記載の発明は、基板上に、少なくとも n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層 ( $0 < x < 1$ )、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 < y < 1$ ) を含む発光領域、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層を順次に形成し、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層上には、電流注入領域となるべき円形状の領域を除いて、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 ( $x < z \leq 1$ ) を選択成長によって形成し、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層および  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  层上には、p 型 GaN コンタクト層を形成し、前記積層構造を共振器としてその上下に多層膜ブレグ反射鏡を形成することを特徴としている。

【0019】また、請求項8記載の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の半導体レーザ装置の

製造方法において、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層または  $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層に代えて、GaN/A<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N からなる超格子構造を形成することを特徴としている。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。図1は本発明に係る半導体レーザ装置の構成例を示す図である。図1の半導体レーザ装置は、基板101上に、少なくとも n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層104 ( $0 < x < 1$ )、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y < 1$ ) を含む発光領域(活性層)106、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層108が順次に形成され、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層108上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域120を除いて、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層109 ( $x < z \leq 1$ ) が選択成長によって形成されており、前記 p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層108及び  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層109上には、p 型 GaN コンタクト層110が形成され、端面発光型のものとして構成されている。

【0021】なお、ここで、発光領域(活性層)106としては、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y < 1$ ) だけからなるものを用いることができるし、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y < 1$ ) の上下に AlGaN ガイド層を設けて SCH 構造としたものを用いても良く、あるいは、AlGaN パリア層をはさんで量子井戸構造にしたもの用いることもできる。換言すれば、発光領域(活性層)106としては、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y < 1$ ) を含んだものであれば良い。

【0022】図1の半導体装置では、さらに、基板101と n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層104 ( $0 < x < 1$ ) との間に、GaN バッファ層102、n 型 GaN コンタクト層103が形成され、また、n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層104 ( $0 < x < 1$ ) と発光領域(活性層)106との間に、ガイド層105が形成され、活性層106と p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層108との間に、ガイド層107が形成されている。

【0023】具体例として、図1の半導体装置は、サファイア基板101上に、GaN バッファ層102、n 型 GaN コンタクト層103が順次に形成され、n 型 GaN コンタクト層103上に、n 型  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  クラッド層104、n 型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  ガイド層105、GaN/A<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N 多重量子井戸活性層106、p 型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  ガイド層107、p 型  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  クラッド層108、アンドープ A<sub>1</sub>N 層109、p 型 GaN コンタクト層110、p 側電極111が、選択成長によって順次に形成されたものとなっている。

【0024】ここで、アンドープ A<sub>1</sub>N 層109は、A<sub>1</sub>, $\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層109において  $z = 1$  とした場合であり、電流を狭窄するためのストライプ領域(電流注入領域)120となるべき箇所には、形成されていない。

【0025】また、n型GaNコンタクト層103上には、n側電極112が形成されている。

【0026】図2は、図1の半導体レーザ装置の製造工程例を示す図である。図2の工程例では、まず、サファイア基板101上に、GaNバッファ層102、n型GaNコンタクト層103、n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層104、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層105、GaN/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N多重量子井戸活性層106、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層107、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108を順次にエピタキシャル成長させる(図2(a))。なお、結晶成長方法としては、有機金属気相成長法を使用することができる。

【0027】次に、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108上にSiO<sub>2</sub>層201を堆積させる。そして、フォトリソグラフィー工程により、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いてSiO<sub>2</sub>層201をケミカルエッチングで除去する(図2(b))。すなわち、電流注入領域となるべきストライプ状の領域だけに、SiO<sub>2</sub>を残す。ここで、SiO<sub>2</sub>のストライプ幅d<sub>0</sub>は、例えば5μmとすることができる。

【0028】次に、有機金属気相成長法により、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108上にアンドープAIN層109を約50nm程度の層厚に成長させる(図2(c))。このとき、SiO<sub>2</sub>層201上にはAIN層109が堆積しないため、ストライプ幅d<sub>0</sub>が5μmの電流注入領域120が形成される。

【0029】次に、SiO<sub>2</sub>層201をケミカルエッチングで除去した後で、アンドープAIN層109およびp型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108上にp型GaNコンタクト層110を結晶成長させる(図2(d))。

【0030】次に、p型GaNコンタクト層110の表面からn型GaNコンタクト層103までドライエッチングしてリッジ構造を形成する(図2(e))。このとき、リッジ幅d<sub>1</sub>が例えば100μm、エッチングした側面の一方から電流注入領域までの距離d<sub>2</sub>が例えば約30μmとなるように、リッジ構造を形成することができます。このようなリッジ構造とすることによって、n型GaNコンタクト層103上にn側電極112を確実に形成するためのスペースを確保することができて、後述のように、n型GaNコンタクト層103上にn側電極112を確実に形成し、n型GaNコンタクト層103中を電流が水平方向に流れるときに抵抗が増大するのを抑制することができる。

【0031】最後に、p型GaNコンタクト層110上にp側電極111を蒸着で形成し、また、n型GaNコンタクト層103上にn側電極112を蒸着で形成する(図2(f))。これにより、図1の半導体レーザ装置を作製できる。

【0032】このような半導体レーザ装置においては、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108上に、例えば

5μm幅のストライプ状の領域120を除いて、アンドープAIN層109が形成されており、このAIN層109は禁制帯幅が6.2eVと非常に大きく、ほぼ絶縁体となっている。従って、電流を5μmのストライプ状の領域120に集中させ、電流を狭窄させることができる。そして、AIN層109で覆われていないストライプ状の領域120を通過した電流を、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108を通じて活性層106に注入させることができる。

【0033】GaN系半導体レーザにおいては、発振波長が短いため、活性層に光を閉じ込めるAlGaNクラッド層の層厚は、0.6μm程度とAlGaAs系半導体レーザに比べて半分以下の厚さで良い。これにより、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108内での電流広がりを、GaAs系半導体レーザに比べて十分小さくすることができる。

【0034】また、電流狭窄を行なうためのAIN層109は、p型GaNコンタクト層110の下に設けられている。

【0035】従って、図1の半導体レーザ装置では、電流が狭窄される面積(ストライプ状の領域120の面積)とp型GaNコンタクト層110が金属電極111と接触する面積とをそれぞれ独立に制御できるという特徴を有している。上記例では、電流狭窄幅(ストライプ幅)d<sub>0</sub>を5μmと狭くし、かつ、p型GaNコンタクト層幅d<sub>1</sub>を100μmと広くすることができる。これにより、レーザの閾値電流を低下させることができ、かつ素子の動作電圧を低減することができる。

【0036】GaN系材料はケミカルエッチングが非常に困難な材料であり、従って、通常、エッチングにはドライエッチングが用いられる。しかしながら、ドライエッティングでは、約50nmの薄いアンドープAIN層109(Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N層109(x<z≤1))のみを制御性良くエッティングするのは困難である。そこで、本発明においては、電流狭窄を行なうストライプ状領域120の形成を、SiO<sub>2</sub>層201をマスクとしたAIN層109の選択成長により行なっている。そのため、ストライプ領域でAIN層109が残ったり、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108がエッティングされることなく、制御性良く、ストライプ状の領域、すなわち電流注入領域120の形成を行なうことができる。

【0037】図3は本発明に係る半導体レーザ装置の他の構成例を示す図である。なお、図3において、図1と対応する箇所には同じ符号を付している。図3の半導体レーザ装置は、基板101上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層104(0<x<1)、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0≤y<1)を含む発光領域(活性層)106、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層301が順次形成され、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層301上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域120を除

いて、 $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )が選択成長によって形成されており、前記p型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第1クラッド層301及び $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109上には、p型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第2クラッド層303、p型GaNコンタクト層110が形成され、端面発光型のものとして構成されている。

【0038】図3に示した半導体レーザ装置も、図1に示した半導体レーザ装置と同様に、活性層106(例えばGaN/A<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N多重量子井戸活性層)の上部に、例えば5μm幅のストライプ状領域120を除いて、 $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )(例えば、アンドープA1N層)が形成されており、このA1N層109は、ほぼ絶縁体であるため、電流を幅5μmのストライプ状の領域120に集中させ、電流を狭窄させることができ、閾電流を低減することができる。

【0039】さらに、図3の半導体装置では、電流を狭窄するための $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )(例えばA1N層)をp型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第1クラッド層301(例えばp型A<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第1クラッド層)とp型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第2クラッド層303(例えばp型A<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第2クラッド層)との間に設けることにより、図1に示した半導体レーザ装置に比べて、活性層106により近い位置で電流狭窄を行なうことができ、これにより、電流広がり(水平横方向の電流広がり)をさらに抑制して、閾電流を一層低減することができる。

【0040】図4は、本発明に係る半導体レーザ装置の他の構成例を示す図である。なお、図4において、図1、図3と対応する箇所には同じ符号を付している。図4の半導体レーザ装置は、基板101上に、少なくともn型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ クラッド層104( $0 < x < 1$ )、I<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N層( $0 \leq w < 1$ )を含む発光領域(活性層)106、p型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第1クラッド層301が順次に形成され、p型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第1クラッド層301上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域120を除いて、 $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )、I<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N層302( $0 \leq w < 1$ )が選択成長によって形成されており、前記p型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第1クラッド層301およびI<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N層302上に、p型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第2クラッド層303、p型GaNコンタクト層110が形成され、端面発光型のものとして構成されている。

【0041】図4に示した半導体レーザ装置も、図1に示した半導体レーザ装置と同様に、活性層106(例えばGaN/A<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N多重量子井戸活性層)の上部に、例えば5μm幅のストライプ状領域120を除いて、 $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )(例えばアンドープA1N層)が形成されており、このA1N層109は、ほぼ絶縁体であるため、電流を幅5μmのストライプ状の領域120に集中させ、電流を狭窄させること

ができ、閾電流を低減することができる。

【0042】さらに、図4の半導体装置では、電流を狭窄するための $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )(例えばA1N層)をp型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第1クラッド層301(例えばp型A<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第1クラッド層)とp型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ 第2クラッド層303(例えばp型A<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第2クラッド層)との間に設けることにより、図1に示した半導体レーザ装置に比べて、活性層106により近い位置で電流狭窄を行なうことができ、これにより、電流広がり(水平横方向の電流広がり)をさらに抑制して、閾電流を一層低減することができる。

【0043】さらに、図4の半導体レーザ装置の特徴として、電流狭窄を行なうための $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )(例えばA1N層109)の上に、I<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばアンドープGaN層)をA1N層109に統いて選択成長により形成している。ここで、I<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばGaN)は、屈折率がp型 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ クラッド層301、302(例えばA<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層)よりも大きく、また、例えばI<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N活性層とI<sub>n</sub>組成が同じかあるいは大きい場合には、I<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N層は、I<sub>n</sub>, Ga<sub>1-y</sub>N活性層106で発生した光を吸収する。このため、水平横方向に実効屈折率が変調(形成)され、光は、I<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばアンドープGaN層)が存在しないストライプ状の領域120に閉じ込められる。

【0044】このように、図4の半導体レーザ装置では、電流狭窄を行なうための $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )(例えばA1N層)と水平横方向に光を閉じ込めるためのI<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばGaN層)が設けられているので、電流狭窄とともに、水平横方向に光を閉じ込めることができる。

【0045】特に、電流狭窄を行なうための $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )(例えばA1N層)と水平横方向に光を閉じ込めるためのI<sub>n</sub>, Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばGaN層302)について、SiO<sub>2</sub>層をマスクとした選択成長により同一のストライプパターンを形成できるので、水平横方向のキャリア密度分布と光分布の位置ずれが発生せず、素子を安定な単一横モードで動作させることができる。

【0046】図5は、本発明に係る半導体レーザ装置の他の構成例を示す図である。なお、図5において、図1と対応する箇所には同じ符号を付している。図5の半導体レーザ装置は、基板101上に、少なくともn型GaNバッファ層102が形成され、該n型GaNバッファ層102上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域120を除いて、 $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109( $x < z \leq 1$ )が選択成長によって形成されており、前記n型GaNバッファ層102および $A_{1-z}Ga_{1-z}N$ 層109

上には、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ クラッド層104( $0 < x < 1$ )、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層( $0 \leq y < 1$ )を含む発光領域(活性層)106、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ クラッド層108、p型コンタクト層110が順次に形成され、端面発光型のものとして構成されている。

【0047】すなわち、図5の半導体レーザ装置では、電流狭窄を行なう $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層109( $x < z \leq 1$ )(例えばアンドープA1N層)がn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ クラッド層104( $0 < x < 1$ )(例えばn型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層)とn型GaNコンタクト層103との間に形成されている点が、図1に示した半導体レーザ装置と相違している。

【0048】具体例として、図1の半導体装置は、サファイア基板101上に、GaNバッファ層102、n型GaNコンタクト層103が順次に形成され、n型GaNコンタクト層103上に、アンドープA1N層109、n型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層104、n型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ガイド層105、GaN/A<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N多重量子井戸活性層106、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ガイド層107、p型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層108、p型GaNコンタクト層110、p側電極111が、選択成長によって順次に形成されたものとなっている。

【0049】図6は、図5に示した半導体レーザ装置の製造工程例を示す図である。図6の工程例では、先ず、サファイア基板101上に、GaNバッファ層102、n型GaNコンタクト層103を、有機金属気相成長法により順次にエピタキシャル成長させる(図6(a))。

【0050】次に、n型GaNコンタクト層103上に $\text{SiO}_2$ 層201を堆積させる。そして、フォトリソグラフィー工程により、電流注入領域となるべきストライプ領域を除いて、 $\text{SiO}_2$ 層201をケミカルエッチングで除去する(図6(b))。ここで、 $\text{SiO}_2$ のストライプ幅 $d_0$ は、例えば5μmとすることができます。

【0051】次に、有機金属気相成長法により、p型GaNコンタクト層103上にアンドープA1N層109を約50nm程度の層厚に成長させる(図6(c))。このとき、 $\text{SiO}_2$ 層201上には、A1N層109が堆積しないため、ストライプ幅 $d_0$ が5μmの電流注入領域120が形成される。

【0052】次に、 $\text{SiO}_2$ 層201をケミカルエッチングで除去した後で、アンドープA1N層109およびn型GaNコンタクト層103上に、n型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層104、n型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ガイド層105、GaN/A<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N多重量子井戸活性層106、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ガイド層107、p型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層108、p型GaNコンタクト層110を順次に結晶成長させる(図6(d))。

【0053】次に、p型GaNコンタクト層110の表面からn型GaNコンタクト層103までドライエッチ

ングしてリッジ構造を形成する(図6(e))。このとき、リッジ幅 $d_1$ が例えば100μm、エッチングした側面の一方から電流注入領域までの距離 $d_2$ が例えば約30μmとなるように、リッジ構造を形成することができる。

【0054】最後に、p型GaNコンタクト層110上にp側電極111を蒸着で形成し、また、n型GaNコンタクト層103上にn側電極112を蒸着で形成する(図6(f))。これにより、図5の半導体レーザ装置を作製できる。

【0055】このような半導体レーザ装置においては、p型GaNコンタクト層103上に、例えば5μm幅のストライプ状の領域120を除いて、アンドープA1N層109が形成されており、このアンドープA1N層109は禁制帯幅が6.2eVと非常に大きく、ほぼ絶縁体となっている。従って、電流を5μmのストライプ状の領域120に集中させることができる。また、p側電極111と接触するp型A1Nコンタクト層110の幅は100μmと広くとれるため、p側オーミック抵抗を低減でき、素子の動作電圧を低減することができる。

【0056】図7は本発明に係る半導体レーザ装置の他の構成例を示す図である。なお、図7において、図5と対応する箇所には同じ符号を付している。図7の半導体レーザ装置は、基板101上に、少なくともn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 第1クラッド層601( $0 < x < 1$ )が形成され、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 第1クラッド層601上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層109( $x < z \leq 1$ )が選択成長によって形成されており、前記n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 第1クラッド層601および $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層109上には、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 第2クラッド層602、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層( $0 \leq y < 1$ )を含む発光領域(活性層)106、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ クラッド層108、p型コンタクト層110が順次に形成され、端面発光型のものとして構成されている。

【0057】図7に示した半導体レーザ装置も、図5に示した半導体レーザ装置と同様に、p型GaNコンタクト層103上に、例えば5μm幅のストライプ状の領域120を除いて、アンドープA1N層109が形成されているので、電流を幅5μmのストライプ状の領域120に集中させることができます。

【0058】さらに、図7の半導体装置は、電流を狭窄するA1N層109がn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 第1クラッド層601( $0 < x < 1$ )(例えばn型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 第1クラッド層)とn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 第2クラッド層602(例えばn型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 第2クラッド層)との間に形成されているので、図5に示した半導体レーザ装置に比べて、活性層106により近い位置で電流狭窄を行なうことができ、これにより、電流広がり(水平横方向の電流広がり)をさらに抑制して、閾電流を一層

低減することができる。

【0059】図8は、本発明に係る半導体レーザ装置の他の構成例を示す図である。なお、図8において、図5と対応する箇所には同じ符号を付している。図8の半導体レーザ装置は、基板101上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層601(0<x<1)が形成され、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層601上には、電流注入領域となるべきストライプ状の領域を除いて、In<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層302(0≤w<1)、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109(x<z≤1)が選択成長によって形成されており、前記n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第1クラッド層601およびAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109上には、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N第2クラッド層602、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0≤y<1)を含む発光領域(活性層)106、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層108、p型コンタクト層110が順次に形成され、端面発光型のものとして構成されている。

【0060】すなわち、図8の半導体レーザ装置は、第1クラッド層601とAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109(x<z≤1)との間に、In<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層302(0≤w<1)がさらに形成されている点で、図7の半導体レーザ装置と相違している。

【0061】図8の半導体レーザ装置も、図5に示した半導体レーザ装置と同様に、電流を幅5μmのストライプ状の領域120に集中させることができる。

【0062】また、図8の半導体レーザ装置においては、電流狭窄を行なうためのAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109(x<z≤1)(例えばAlN層)を成長するに先立ち、In<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばアンドープGaN層)を選択成長により形成している。ここで、In<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばGaN)は、屈折率がn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層601、602(例えばAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層)よりも大きく、また、例えばIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N活性層とIn組成が同じかあるいは大きい場合には、In<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層は、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N活性層106で発生した光を吸収する。このため、水平横方向に実効屈折率が変調(形成)され、光は、In<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばアンドープGaN層)が存在しないストライプ状の領域120に閉じ込められる。

【0063】このように、図8の半導体レーザ装置では、電流狭窄を行なうためのAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109(x<z≤1)(例えばAlN層)と水平横方向に光を閉じ込めるためのIn<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばGaN層)が設けられているので、電流狭窄とともに、水平横方向に光を閉じ込めることができる。特に、電流狭窄を行なうためのAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109(x<z≤1)(例えばAlN層)と水平横方向に光を閉じ込めるためのIn<sub>w</sub>Ga<sub>1-w</sub>N層302(例えばGaN層)について、SiO<sub>2</sub>層をマスクとした選択成長により同一のストライプパターンを形成できるので、水平横方向のキャリア密度分布と光分布の位置ずれが発生せず、素子を安定な单一横モー

ドで動作させることができる。

【0064】図9は、本発明に係る半導体レーザ装置の他の構成例を示す図である。なお、図9において、図1と対応する箇所には同じ符号を付している。図9の半導体レーザ装置は、基板101上に、少なくともn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層104(0<x<1)、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層(0<y<1)を含む発光領域(活性層)701、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層108が順次に形成され、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層108上には、円形状の領域130を除いて、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109(x<z≤1)が選択成長によって形成されており、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層108およびAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層109上には、p型GaNコンタクト層110が形成され、前記積層構造101、102、103、104、701、108、109、110を共振器としてその上下に多層膜プラグ反射鏡702、703が形成されている。

【0065】ここで、p型GaNコンタクト層110の表面からn型GaNコンタクト層103までは、例えば直径100μm程度の円形状にメサエッティングされている。そして、メサの頂上部、すなわちp型GaNコンタクト層110上には、p側電極111がリング状に形成されており、またメサの周辺、すなわちn型GaNコンタクト層103上には、n側電極112が形成されている。

【0066】具体例として、図9の半導体レーザ装置は、サファイア基板101上に、GaNバッファ層102、n型GaNコンタクト層103が順次に形成され、n型GaNコンタクト層103上に、n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層104、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/GaN多重量子井戸活性層701、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108、アンドープAlN層109、p型GaNコンタクト層110、p側電極111が、選択成長によって順次に形成されたものとなっている。

【0067】また、図9において、上部誘電体多層膜プラグ反射鏡702はZrO<sub>2</sub>とMgF<sub>2</sub>を光学波長の1/4厚さで交互に8ペア積層した反射鏡として構成され、また、下部誘電体多層膜プラグ反射鏡703はZrO<sub>2</sub>とMgF<sub>2</sub>を光学波長の1/4厚さで交互に10ペア積層した反射鏡として構成されている。なお、図9の例では、下部誘電体多層膜プラグ反射鏡703は、電流狭窄を行なうための直径約10μmの円形状の領域130の下方のサファイア基板101をエッティングで除去した後に、基板裏全面に電子ビーム蒸着法により形成される。

【0068】このような構成では、p側電極111から注入された電流は、p型GaNコンタクト層110とp型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層108との間に設けられたアンドープAlN層109によって、直径が約10μm程度の円形状の領域130に狭窄されて、In<sub>0.15</sub>

$Ga_{0.85}N/GaN$ 多重量子井戸活性層701に流れ込む。従って、電流を狭い円形状の領域に閉じ込めて閾電流を低下させ、かつp側電極111とのコンタクト面積を広くして素子の動作電圧を低減することができる。

【0069】すなわち、活性層701の上部に円形領域を除いて形成した $Al_xGa_{1-x}N$ 層109によって電流を例えば直径10μm程度の狭い領域に集中させることができる。一方、p型GaNコンタクト層110は、上記直径10μmよりも大きい(例えば直径100μm程度)メサ形状にエッチングされているので、電流が狭窄される面積とp型GaNコンタクト層が金属電極と接触する面積とを互いに独立に制御でき、レーザの閾電流を低下させてかつ素子の動作電圧を低減させることができる。

【0070】また、 $In_yGa_{1-y}N$ (0<y<1)層を含む発光領域(活性層)701で発光した光は、上下の多層膜プラグ反射鏡702、703で構成された共振器内でレーザ発振して、基板101に対して垂直方向に出射される。すなわち、図9の半導体レーザ装置は、基板に対して垂直方向に光を取りだすことができる面発光型になっている。この際、 $In_{0.15}Ga_{0.85}N/GaN$ 多重量子井戸活性層701で発光した光は、メサ頂部に形成された上部誘電体多層膜プラグ反射鏡702と、GaNバッファ層の下に形成された下部誘電体多層膜プラグ反射鏡703との間で共振して、基板に対して垂直方向にレーザ光が取り出される。

【0071】このとき、活性層に用いている $In_yGa_{1-y}N$ (0<y<1)は、バッファ層やコンタクト層に用いているGaNよりも禁制帯幅が小さいため、共振器内の光吸収損失を少なくできる。すなわち、 $In_{0.15}Ga_{0.85}N/GaN$ 多重量子井戸活性層701の禁制帯幅は、共振器内にあるAlGaN層およびGaN層の禁制帯幅よりも小さいため、共振器内における光吸収損失を小さくすることができ、閾電流密度の上昇を防止できる。

【0072】図10は、本発明に係る半導体レーザ装置の他の構成例を示す図である。図10の半導体レーザ装置は、図1、図3、図4、図5、図7、図8あるいは図9の半導体レーザ装置において、 $Al_xGa_{1-x}N$ 層および $In_yGa_{1-y}N$ 層に代えて、 $GaN/Al_xGa_{1-x}N$ からなる超格子構造801が選択成長によって形成されたものとなっている。

【0073】具体的に、図10の半導体レーザ装置は、例えば、図4に示した半導体レーザ装置におけるアンドープAlN層109およびアンドープGaN層302に代えて、 $GaN/Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ 超格子構造801が選択成長により形成されている。この超格子構造801は、10nmの層厚のGaN層と10nmの層厚の $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ 層とを交互に10ペア積層した構造となっている。

【0074】このような超格子構造においては、超格子構造の各ヘテロ界面にヘテロ接合に伴なうスパイクが形成されており、特に有効質量の大きい正孔に対してはエネルギー障壁として働く。このため、ヘテロ障壁よりもエネルギーの高い正孔に対してオーバーフローを抑制する。これにより、電流を幅5μmのストライプ状の領域120に集中させて電流を狭窄し、閾電流を低下させることができる。

【0075】また、図10の半導体レーザ装置においては、 $GaN/Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 量子井戸活性層106の禁制帯幅が $GaN/Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ 超格子構造801の禁制帯幅よりも大きくなるように設定している。このため、 $GaN/Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 量子井戸活性層106で発生した光は、 $GaN/Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ 超格子構造801で吸収を受けて、水平横方向に実効屈折率差ができる。従って、活性層106で発光した光は $GaN/Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ 超格子構造801が存在しないストライプ状の領域120に閉じ込められて、安定な単一横モードで動作する。

【0076】このように図10の半導体レーザ装置においては、電流狭窄層として $Al_xGa_{1-x}N$ 単層ではなく $GaN/Al_xGa_{1-x}N$ 超格子構造を用いており、超格子構造ではヘテロ界面で発生するスパイクが多数形成されるため、ヘテロ障壁よりもエネルギーの高いキャリアに対してキャリアのオーバーフローを抑制する効果が増加する。あるいは、 $GaN/Al_xGa_{1-x}N$ 超格子構造を多数キャリアに対して量子干渉条件を満足するような層厚で構成すると、ヘテロ障壁よりもエネルギーの高いキャリアを反射することができる。従って、 $Al_xGa_{1-x}N$ 単層に比べて実効的に $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層とのヘテロ障壁高さが大きくなるため、より小さいAl組成zで同じ電流狭窄効果を得ることができる。これにより、GaNとの格子不整合に起因する歪量を低減することができる。

【0077】以上のように、本発明は、 $In_yGa_{1-y}N$ 層(0≤y<1)を含む発光領域(活性層)の上部または下部に、ストライプ状の領域120または円形状の領域130を除いて、アンドープ $Al_xGa_{1-x}N$ 層(x<z≤1)が形成されていることを特徴としている。(ここで、Al組成zはクラッド層の $Al_xGa_{1-x}N$ 層のAl組成xよりも大きく設定されている(x>z))。従って、 $Al_xGa_{1-x}N$ 層と $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層との界面にはヘテロ障壁が形成され、キャリアの注入が妨げられる。さらに、Al組成zを1に近づけるにつれて $Al_xGa_{1-x}N$ 材料の禁制帯幅が大きくなって半導体から絶縁体に近づいていく。そのため、より効率良く電流をブロックすることができる。すなわち、素子に注入された電流を、 $Al_xGa_{1-x}N$ 層で覆われていないストライプ状の領域120または円形の領域130に集中させ狭窄して活性層に注入させることができ、これによって、閾

電流を低下させることができる。

【0078】そして、上記電流狭窄を行なう  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層が素子の積層構造の内部に設けられていることによって、電流が狭窄される面積と p 型 GaN コンタクト層が金属電極と接触する面積を独立に制御できるという特徴を有している。例えば電流狭窄幅を  $5 \mu\text{m}$  と狭くして、かつ p 型 GaN コンタクト層幅を  $100 \mu\text{m}$  と広くすることができる。これにより、レーザの閾電流を低下させて、かつ素子の動作電圧を低減することができる。

【0079】また、電流狭窄を行なうための  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層は、ストライプ状または円形状の領域に  $\text{SiO}_2$  等のマスク層を形成し、マスク層の上には結晶成長させずに、マスク層で覆われていない半導体層上にのみ選択的に積層させて形成されている。このようにエッチング工程を用いずに  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層およびストライプ状または円形状領域を形成できるので、ケミカルエッチングが非常に困難な GaN 系材料であっても、ストライプ状または円形状領域を制御性良く比較的容易に形成できる。

#### 【0080】

【発明の効果】以上に説明したように、請求項 1 乃至請求項 8 記載の発明によれば、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y < 1$ ) を含む発光領域(活性層)の上部または下部に、ストライプ状または円形状の領域を除いて、クラッド層の  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層よりも Al 組成が大きいアンドープ  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層を選択成長により形成しているので、電流を  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層で覆われていないストライプ状または円形の狭い領域に集中させて閾電流を低下させることができ。また、電流狭窄を行なう  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層は、素子の積層構造の内部に設けられているため、電流狭窄面積と独立に p 型 GaN コンタクト層と金属電極が接触する面積を広くすることができ、素子の動作電圧を低減することができる。

【0081】特に、請求項 2、請求項 5 記載の発明では、電流を狭窄する  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層を  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第 1 クラッド層と  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  第 2 クラッド層との間に選択成長によって形成しているので(電流を狭窄する  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層を、第 1 クラッド層と第 2 クラッド層の間で  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  活性層に近接して形成しているので)、電流の狭窄を  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  活性層により近い位置で行なうことができ、電流広がりをさらに抑制することができて、閾電流をより一層低減することができる。

【0082】また、請求項 3、請求項 6 記載の発明では、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  電流狭窄層に加えて  $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層 ( $0 \leq w < 1$ ) を選択成長により形成しており、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層の屈折率は  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  クラッド層よりも大きく、また  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  活性層と In 組成が同じかあるいは大きい場合には、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  活性層で発生した光を吸収するので、水平横

方向に実効屈折率差が形成され、素子を安定な水平横モードで動作させることができる。

【0083】また、請求項 7 記載の発明では、特に面発光レーザに適用する場合に、発光領域(活性層)の上部に円形状領域を除いて選択成長により形成した  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層によって電流を狭い円形領域に集中させて閾電流を低減することができる。そして、p 型 GaN コンタクト層は上記直径よりも大きいメサ形状にエッチングされており、p 型 GaN コンタクト層と金属電極が接触する面積を大きくできるため、素子の動作電圧を低減することができる。

【0084】また、請求項 8 記載の発明では、電流狭窄層として GaN /  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  超格子構造を用いることによって、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  単層に比べてより小さい Al 組成で電流狭窄効果を得ることができ、GaN との格子不整合に起因する歪量を低減することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

【図 2】図 1 の半導体レーザ装置の製造工程例を示す図である。

【図 3】本発明に係る半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

【図 4】本発明に係る半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

【図 5】本発明に係る半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

【図 6】図 1 の半導体レーザ装置の製造工程例を示す図である。

【図 7】本発明に係る半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

【図 8】本発明に係る半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

【図 9】本発明に係る半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

【図 10】本発明に係る半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

【図 11】従来の半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

【図 12】従来の半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

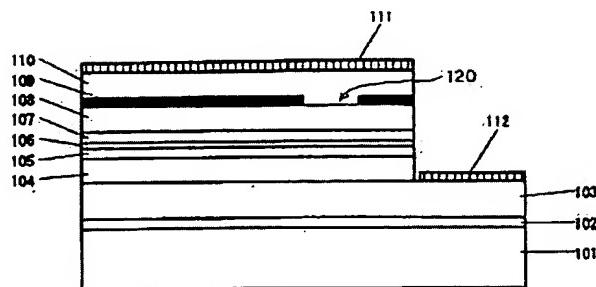
【図 13】従来の半導体レーザ装置の構成例を示す図である。

#### 【符号の説明】

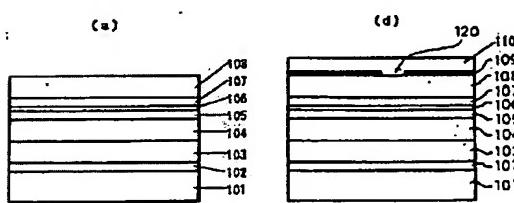
- 101 サファイア基板
- 102 GaN バッファ層
- 103 n型 GaN コンタクト層
- 104 n型  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  クラッド層
- 105 n型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  ガイド層
- 106 GaN /  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  多重量子井戸活性

層		302	アンドープGaN層
107	p型Al <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> Nガイド層	303	p型Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> N第2クラッド層
108	p型Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> Nクラッド層	601	n型Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> N第1クラッド層
109	アンドープAlN層	602	n型Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> N第2クラッド層
110	p型GaNコンタクト層	701	In <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> N/GaN多重量子井戸活性層
111	p側電極	702	上部誘電体多層膜プラグ反射鏡
112	n側電極	703	下部誘電体多層膜プラグ反射鏡
201	SiO <sub>2</sub> 層	801	アンドープGaN/AlGaN超格子構造
301	p型Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> N第1クラッド層		

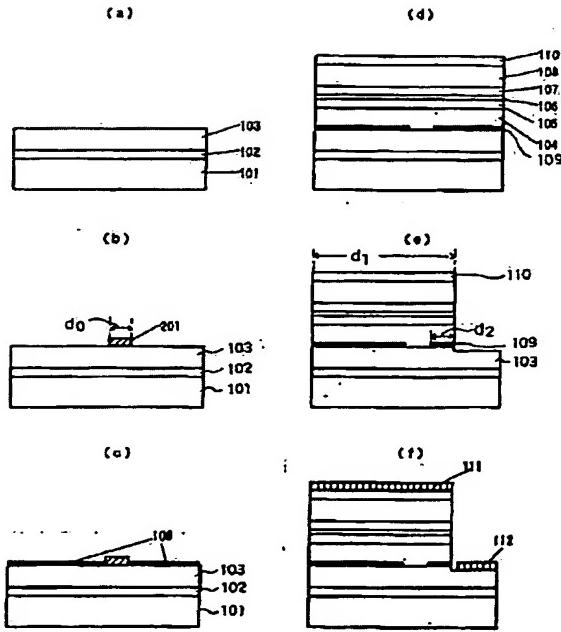
【図1】



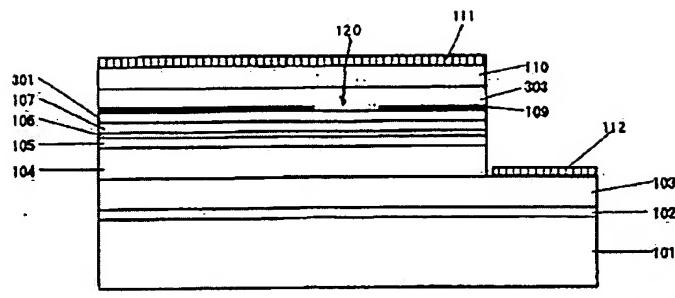
【図2】



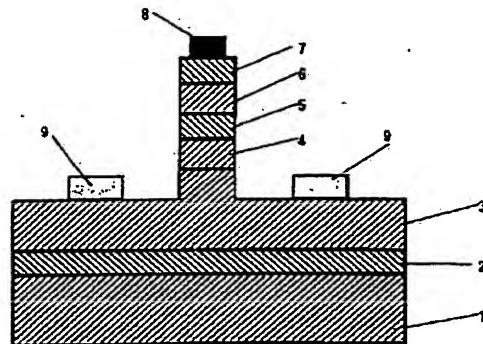
【図6】



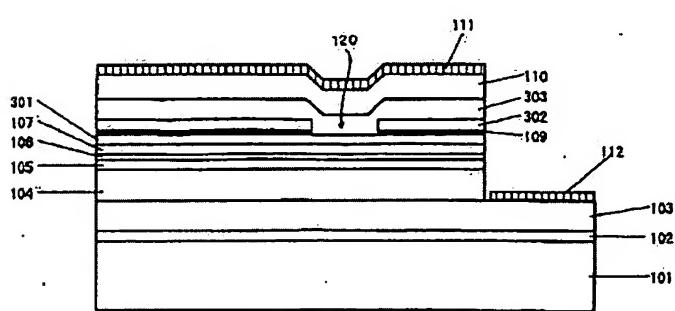
【図3】



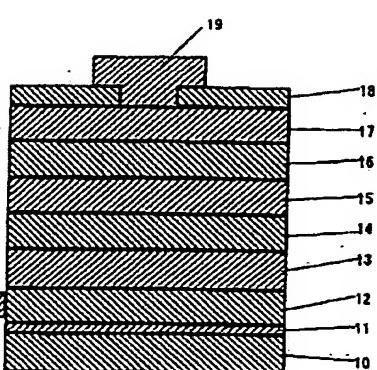
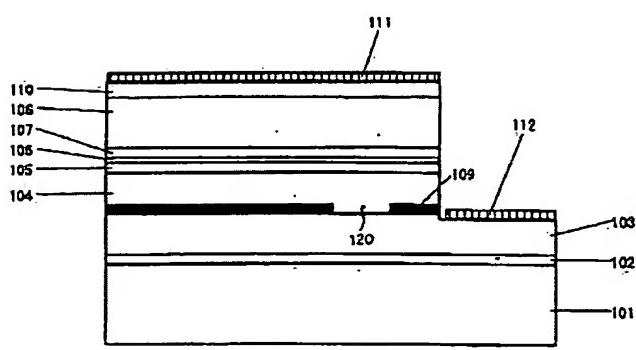
【図11】



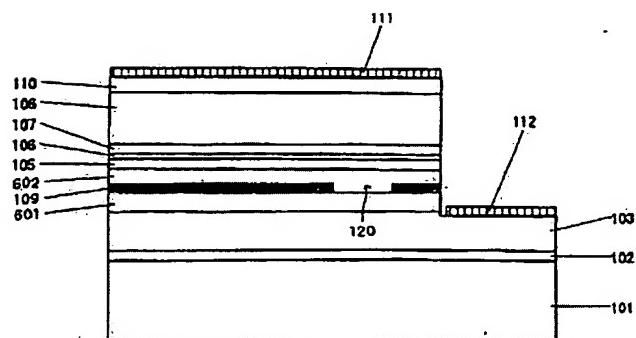
【図4】



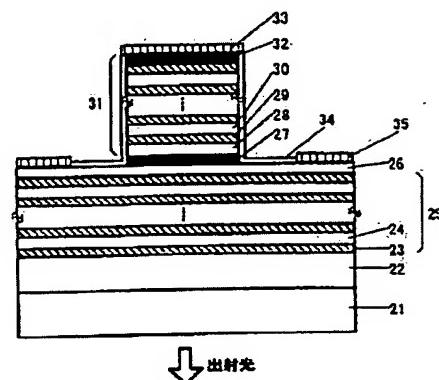
【図12】



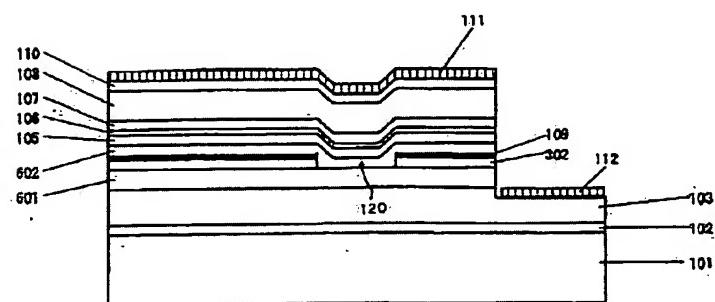
【図7】



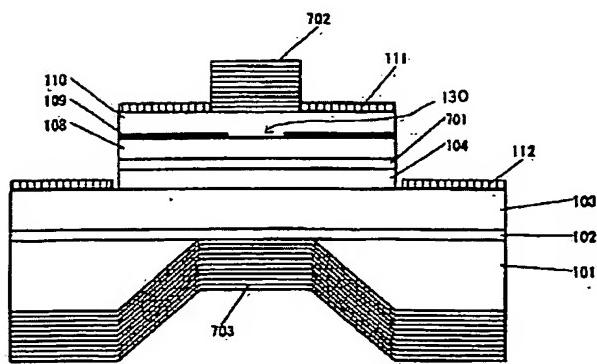
【図13】



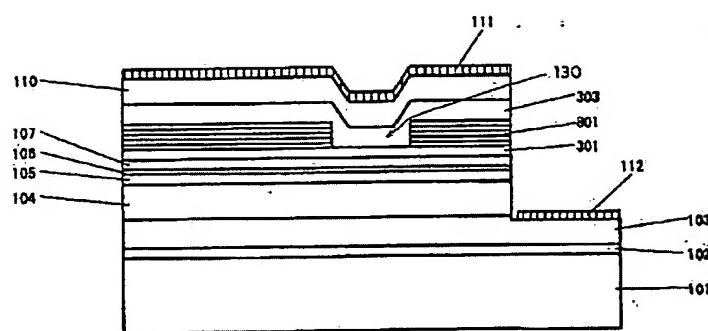
【図8】



【図9】



【図10】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

**BLACK BORDERS**

**IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

**FADED TEXT OR DRAWING**

**BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

**SKEWED/SLANTED IMAGES**

**COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

**GRAY SCALE DOCUMENTS**

**LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

**REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

**OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**